DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250701004
引用格式: 徐雪峰, 张城玮, 羊秀丽, 等. 诺丽果渣关键营养与功能成分的测定与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(14): 144–151.
Xu Xuefeng, Zhang Chengwei, Yang Xiuli, et al. Determination and analysis of key nutrients and functional components in *Morinda citrifolia* L. residue [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(14): 144–151. (in Chinese with English abstract).

诺丽果渣关键营养与功能成分的测定与分析

徐雪峰[1*], 张城玮[1], 羊秀丽[1], 符大隆[1], 符文英[2*]
(1. 海南科技职业大学化学与材料工程学院, 海口 571126; 2. 海南省万宁万维生物科技有限公司, 万宁 571500)

摘 要: 目的 系统分析诺丽果渣中多酚、黄酮、多糖等 11 类营养功能成分。**方法** 参照国家或行业标准方法, 对诺丽果渣中多酚、黄酮、多糖及其单糖组成、蛋白多肽、皂苷、膳食纤维和挥发性成分等进行测定分析。**结果** 诺丽果渣中总黄酮含量为 57.88 mg/g, 总多酚为 4.57 mg/g, 总多糖为 37.65 mg/g, 粗蛋白为 8.16%, 总皂苷为 19.9 mg/g; 黄酮酚类以芦丁(28.86 mg/g)为主, 蛋白质水解后富含天冬氨酸(7.99 mg/g)、谷氨酸(6.88 mg/g)和胱氨酸(7.66 mg/g)。必需氨基酸占总氨基酸的 33.8%, 接近世界卫生组织(World Health Organization, WHO)/联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)推荐值(36%)。多糖主要由甘露糖(33.49%)、葡萄糖醛酸(2.56%)、半乳糖醛酸(27.00%)、葡萄糖(24.89%)、半乳糖(8.77%)和阿拉伯糖(3.29%)组成。膳食纤维中纤维素、半纤维素和木质素含量分别为 32.10%、13.27%和 20.27%。挥发性成分中 9,12-十八碳二烯酸(*Z*,*Z*)含量最高(64.32%), 并含有辛酸(1.67%)和角鲨烯(11.47%)。**结论** 本研究系统分析了诺丽果渣的主要功能成分, 为其进一步高值化开发利用提供了数据与实践依据。

关键词: 诺丽果渣; 氨基酸; 多酚; 皂苷; 糖类
中图分类号: TS255.1 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)14–0144–08

Determination and analysis of key nutrients and functional components in *Morinda citrifolia* L. residue

XU Xue-Feng[1*], ZHANG Cheng-Wei[1], YANG Xiu-Li[1], FU Da-Long[1], FU Wen-Ying[2*]
(1. *College of Chemical and Material Engineering*, *Hannan Vocation University of Science and Technology*, *Haikou* 571126, *China*; 2. *Hainan Wanning Wanwei Biotechnology Co*., *Ltd*., *Wanning* 571500, *China*)

ABSTRACT: Objective To systematically analyse the 11 categories of nutritional and functional components such as polyphenols, flavonoids, polysaccharides in *Morinda citrifolia* L. residue. **Methods** Based on national and industry standard methods, the content of polyphenols, flavonoids, polysaccharides (including monosaccharide composition), proteins/peptides, saponins, dietary fiber and volatile compounds were analyzed. **Results** *Morinda citrifolia* L. residue contained 57.88 mg/g total flavonoids, 4.57 mg/g total polyphenols, 37.65 mg/g total polysaccharides, 8.16% crude protein, and 19.9 mg/g total saponins. Rutin (28.86 mg/g) was the predominant

收稿日期: 2025-07-01
基金项目: 海南省大学生创新训练项目; 海南科技职业大学科研项目(HKKY2024-BS-16)
第一作者: 徐雪峰(1987—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为植物资源开发及利用。E-mail: xuxf242406@126.com
***通信作者:** 符文英(1962—), 女, 硕士, 教授, 主要研究方向为药用植物。E-mail: 1045402375@qq.com

flavonoid. Acid-hydrolyzed protein was rich in aspartic acid (7.99 mg/g), glutamic acid (6.88 mg/g) and cysteine (7.66 mg/g). Essential amino acids accounted for 33.8% of total amino acids, close to the World Health Organization (WHO)/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) recommended value of 36%. The polysaccharides consisted of mannose (33.49%), glucuronic acid (2.56%), galacturonic acid (27.00%), glucose (24.89%), galactose (8.77%) and arabinose (3.29%). Dietary fiber included cellulose (32.10%), hemicellulose (13.27%) and lignin (20.27%). The major volatile compound was 9,12-octadecadienoic acid (*Z*,*Z*) (64.32%), along with octanoic acid (1.67%) and squalene (11.47%). **Conclusion** This study systematically analyzes the main functional components of *Morinda citrifolia* L. residue, providing data and practical basis for its further high-value utilization and development.

KEY WORDS: *Morinda citrifolia* L. residue; amino acid; polyphenols; saponins; carbohydrates

0　引　言

诺丽果(*Morinda citrifolia* L.)树为常绿小乔木, 茜草科巴戟天属植物, 素有“超级水果”和热带水果“皇后”之美誉, 主要分布在南太平洋地区, 如夏威夷和塔希提群岛等地。在中国也有大量种植, 其主产地为海南岛、西沙群岛和台湾岛[1–3]。特别是在海南岛拥有大量野生诺丽果, 先后在三亚、万宁、定安、陵水、文昌、琼海等地均有大规模种植, 已初步形成了诺丽果加工产业的雏形。诺丽树四季常绿, 全年有果, 种植 9 个月即可采摘。诺丽果富含 227 种营养成分, 包括多种维生素(A、B、C、E 等)及数十余种矿物质(锌、钙、铁等), 还包括香豆素、类黄酮和环烯醚萜化合物等酚类活性成分[4]。研究表明, 诺丽果蛋白质含量是椰子、香蕉的 2~6 倍; 是木瓜和余甘子的 20.2 倍和 26.9 倍[5], 具有极高的功能营养价值。诺丽果具有 2000 多年饮食和民间治疗的历史[6], 常用于治疗许多疾病, 包括糖尿病、高血脂、高血压和癌症[7], 还具有抗菌、抗病毒、提高免疫力等功能[8–12]。诺丽果在 2002 年和 2010 年先后被欧盟和国家卫生部批准为新资源食品[13]。除果汁产品外, 加工过程会伴随大量的果渣副产物产生。据统计, 海南省每年废弃的诺丽果渣高达数万吨, 主要作为农家肥或渔业饲料被使用, 利用程度不高。诺丽果渣含有丰富的黄酮甙、多糖、皂甙和果胶等营养功能成分[14], 通过在中国知网检索“诺丽果渣”, 仅有 4 篇文章对果渣黄酮、果胶等的提取及抗氧化抗疲劳等活性进行了初步研究。同理, 通过 Web of Science 检索“Noni fruit residue”或“Noni fruit pomace”, 共有 5 篇外文文章对类胡萝卜素、黄酮苷, 及乙醇提取物的抗菌活性评价进行了研究。但针对国内诺丽果渣特色资源, 对其关键营养功能成分如多酚、蛋白、多肽、挥发性组成以及具体单一酚类和多糖等并没有深入系统的研究分析。考虑到诺丽果渣所富含的维生素、多糖、酚类等活性成分可作为潜在的人体营养素补充的丰富来源。因此, 本研究参照国家或行业标准, 对诺丽果渣的关键营养成分进行系统测定分析, 揭示果渣中的高价值成分信息, 以期为产业界将诺丽果渣“变废为宝”提供可信服的科学依据, 为后期产品的全果高值化加工利用提供数据与实践指导。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

诺丽果渣干基(夏季室外在太阳下晒干至恒重, 海南省万宁万维生物科技有限公司)。

单宁酸、芦丁、咖啡酸、香豆酸、四肽、齐墩果酸、没食子酸标准品(纯度大于 99%, 上海阿拉丁试剂有限公司); 鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖、半乳糖醛酸、葡萄糖醛酸标准品(纯度大于 99%, 美国 Sigma-Aldrich 试剂有限公司); 乙醇、正己烷、苯酚、硫酸、三氟乙酸、1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮(1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone, PMP)、碳酸钠、亚硝酸钠($NaNO_2$)、硝酸铝[$A1(NO_3)_3$]、氢氧化钠(NaOH)、香草醛、双缩脲(分析纯)、甲醇、乙腈、冰醋酸(色谱纯)(南京化学试剂有限公司); Folin-Ciocalteu 试剂(生物试剂, 上海源叶生物科技有限公司)。

1.2　仪器与设备

A11 研磨机、RV3 旋转蒸发仪(德国 IKA 有限公司); JY98-IIIDN 超声破壁机(宁波新芝生物科技有限公司); MB25 奥豪斯水分测定仪[奥豪斯国际贸易(上海)有限公司]; 1260 infinity II 高效液相色谱仪、ZORBAX Eclipse XDB-C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)、ZORBAX SB-Aq C_{18} 色谱柱(250 mm× 4.6 mm, 5 μm)、DB-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)[安捷伦科技(中国)有限公司]; UV-1600PC 分光光度计(上海美谱达仪器有限公司); LC98IAAA 全自动氨基酸分析仪(北京温分分析仪器技术开发有限公司); GCMS-QP2050 Entry 气相色谱-质谱联用仪(日本岛津有限责任公司)。

1.3　提取制备

将干燥的诺丽果渣在常温下利用研磨机粉碎至约 60 目; 称取果渣粉 5 g 置于圆底烧瓶, 分别加入 70%乙醇、正己

烷、90%乙醇溶液 100 mL, 利用超声破壁机在室温下按照超声功率 600 W 和超声频率 20 kHz, 超声提取 15 min。趁热真空抽滤后定容至 100 mL; 根据上述溶剂分别依次用于多酚/挥发性组分/总皂苷等活性成分含量的测定。

1.4 分析方法

1.4.1 水分含量测定

将 1.0 g 左右样品粉末放置于水分测定仪中, 在设定的 105 ℃温度下加热 15 min。

1.4.2 膳食纤维类含量测定

根据中国农业行业标准 NY/T 3494—2019《农业生物质原料 纤维素、半纤维素、木质素测定》的方法, 测定诺丽果渣中纤维素、半纤维素和木质素含量。

1.4.3 果胶质含量测定

根据中国农业行业标准 NY/T 2016—2011《水果及其制品中果胶含量的测定分光光度法》, 测定诺丽果渣中果胶含量。

1.4.4 总多糖含量测定

取一定量果渣样品与适量的蒸馏水混合, 采用超声波辅助高效提取, 具体设置的参数如超声功率 120 W、频率 20 kHz、提取温度 25 ℃和提取时间 30 min 后, 高速离心获得上清液; 经旋蒸浓缩后加入 4 倍体积无水乙醇, 置于 4 ℃下静置 18 h 后; 离心获得沉淀物, 50 ℃下烘干除去乙醇后加入蒸馏水复溶并冻干, 得到诺丽果粗多糖; 再根据中国出入境检验检疫行业标准 SN/T 4260—2015《出口植物源食品中粗多糖的测定 苯酚-硫酸法》的方法, 测定总多糖。

1.4.5 单糖组成的测定

参考戴军等[15]的方法, 取一定量诺丽果渣粗多糖, 加入 2 mol/L 的三氟乙酸进行水解, 水解液旋干后加入 PMP 进行衍生化反应, 产物使用液相色谱法进行检测。具体高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)条件如下: 色谱柱: ZORBAX Eclipse XDB-C_{18} (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH 6.7)–乙腈(体积比 83:17); 柱温: 30 ℃; 检测波长 250 nm, 流速: 1.0 mL/min; 进样体积 20 μL。

1.4.6 总黄酮含量测定

参考张明等[16]的方法, 用 95%乙醇将芦丁配成 20、40、60、80、100、120 mg/L 的标准溶液, 加入 0.1 mL 质量浓度为 5%的 $NaNO_2$ 溶液, 涡旋摇匀后静置 6 min, 再加入 0.1 mL 质量浓度为 10%的 $A1(NO_3)_3$ 溶液, 混匀后静置 6 min, 加入 0.8 mL 质量浓度为 4%的 NaOH 溶液, 涡旋后静置 10 min, 并于 510 nm 下测定吸光度。以 510 nm 处的吸光值为纵坐标(Y), 芦丁的质量浓度为横坐标(X, mg/L), 建立的标准曲线为: Y=0.0004X+0.076, r^2=0.998。

1.4.7 总多酚含量测定

参考廉晓芯等[17]的方法, 以去离子水为溶剂, 配制不同质量浓度的没食子酸溶液(0、50、100、150、250 和 300 mg/L)。移取没食子酸溶液 0.2 mL 到 10 mL 容量瓶中, 加入 0.5 mL Folin-Ciocalteu 试剂和 2.3 mL 去离子水后混匀; 静置 1 min 后加入 2 mL 7.5%碳酸钠溶液混匀。将上述标准溶液在 20 ℃ 下放置 2 h 后, 于 760 nm 波长下用 UV-1600PC 分光光度计测定其 OD 值, 以没食子酸溶液质量浓度为横坐标(X, mg/L), 760 nm 下的 OD 值为纵坐标(Y), 建立的标准曲线为: Y=0.003X+0.0601, r^2=0.9994。

1.4.8 果渣中酚类化合物的测定

参考张敏等[18]的方法, 利用高效液相色谱仪, 配备安捷伦 ZORBAX SB-Aq C_{18} 色谱柱(250 mm× 4.6 mm, 5 μm)和紫外/可见光检测器。流动相为 0.2%醋酸水溶液(A)和甲醇(B), 梯度洗脱的条件为 0~6 min, 75%~55% B; 6~13 min, 55%~45% B; 13~17 min, 45%~40% B; 17~20 min, 40%~35% B; 20~28 min, 35%~30% B; 28~35 min, 30%~8% B; 35~40 min, 8%~95% B; 40~45 min, 95%~75% B。进样量为 10 μL, 流动相流速为 1.0 mL/min, 检测波长为 280 nm。

1.4.9 粗蛋白、游离多肽、氨基酸类含量的测定

针对诺丽果渣中粗蛋白、游离多肽、氨基酸等成分进行了含量测定, 具体测定方法如下。

(1)粗蛋白含量的测定

采用杜马斯燃烧法测定果渣中粗蛋白含量[19]。

(2)游离多肽含量的测定

参考张灿等[20]的方法, 利用碱溶酸沉淀法去除蛋白, 三氟乙酸除去蛋白后, 通过考马斯亮蓝法测定游离多肽含量。具体以 1:20 (g:mL)料液比溶于纯水中, 在超声功率 100 W 超声 30 min, 利用 1% NaOH 溶液调 pH 至 10.0, 45 ℃水浴 50 min, 6000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 用 0.01%三氟乙酸调节 pH 至蛋白等电点 5.2, 离心除去蛋白后, 采用考马斯亮蓝法测定游离多肽的含量。8 mL 双缩脲与 2 mL 上清液混合后, 在 25 ℃水浴锅孵育 30 min, 在 540 nm 处测定其吸光度。以四肽(甘氨酸-甘氨酸-酪氨酸-脯氨酸)作为标准品。以 540 nm 下的吸光度为纵坐标(Y), 样品游离多肽的质量浓度为横坐标(X, mg/mL)建立的标准曲线为: Y=0.076+0.015X, r^2=0.993。

(3)水解氨基酸含量的测定

取诺丽果渣样品 100 mg, 置于抽真空的水解管内并充氮气, 用盐酸水解时间 24 h, 水解液过滤定容至 50 mL, 吸取一定量的溶液, 过 0.22 μm 滤膜后注入氨基酸自动分析测试仪。具体内容可参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

1.4.10 总皂苷含量的测定

参考刘勇等[21]的方法, 采用浓硫酸-香草醛显色法测定总皂苷含量; 以齐墩果酸作为标准品, 配成质量浓度为 0.2~0.8 mg/mL 样品溶液。将标准品溶液 0.5 mL 与 8%香草醛-乙醇溶液 0.5 mL, 在冰水浴下混匀后加入 77%硫酸 4 mL, 并置于 60 ℃水浴加热 15 min, 迅速用冰水降温 10 min, 在 544 nm 处测定其吸光度。以吸光度为纵坐标(Y), 样品质

量浓度为横坐标(X, mg/mL), 得线性回归方程为: Y=0.303+1.993X, r^2=0.9996, 以水作为空白对照。按同样方法测定果渣皂苷粗提液中总皂苷含量。

1.4.11　挥发性组成类

参考张敏等[18]的方法, 果渣经正己烷萃取后, 室温下加入甲醇与 NaOH 进行甲酯化, 再用气相色谱-质谱技术(gas chromatography-mass spectrometr, GC-MS)测定其挥发性组成。分析过程是在 GC-MS 上进行的, 该质谱法由 DB-5MS (30 m× 0.25 mm, 0.25 μm)和纯化的氦气(流量>99.99%)作为载气组成, 流速为 1.0 mL/min(约 30 cm/s 恒定流量), 温度从 60 ℃开始保持 1.0 min, 并以 15 ℃/min 的速率升高至 180 ℃。最后以 3 ℃/min 的速率, 将温度提高到 250 ℃, 持续 5 min。进样体积为 0.4 μL。质谱的检测条件是在电子电离模式下进行, 电子能量设定为 70 eV, 离子源温度和 MS 传输线温度均设定为 250 ℃, 吹扫流量为 5.0 mL/min, 用全扫描模式获取质谱, 质量扫描范围为 m/z 33~450, 并通过美国国家标准与技术研究所(National Institute of Standards and Technology, NITS) 2014 数据库检索进行化合物匹配。

1.5　数据处理

每组实验平行 3 次, 结果以平均值±标准误表示。数据利用 Excel 2019 和 SPSS 19 软件进行统计处理, 采用 Origin 7 软件绘制分析图。

2　结果与分析

2.1　果渣营养成分的初步测定

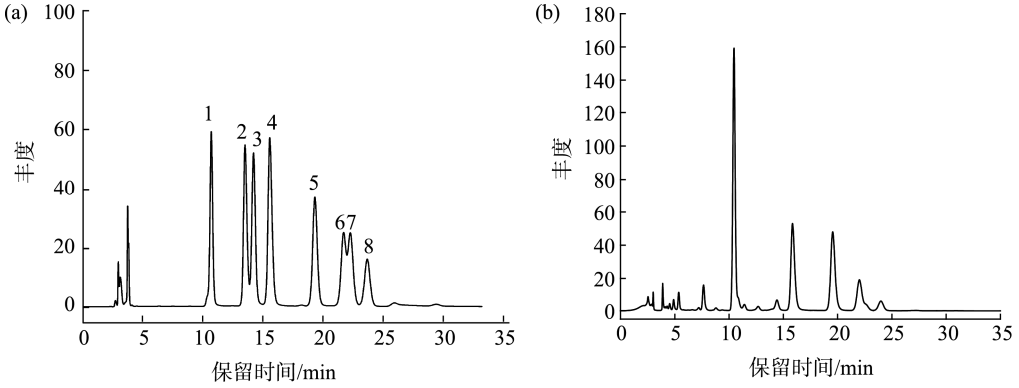
研究结果表明, 诺丽果渣含水量 8.6%, 多糖含量 37.65 mg/g, 果胶质含量 9.49 mg/g; 这些测试结果与赵宏亮等[14]的多糖含量研究报道相似, 但其测定的果胶含量 43.80 mg/g 较本研究样品的果胶含量更高。这可能是本研究使用的诺丽果渣原料为 50~80 ℃烘干样品, 而使用的为新鲜压榨后的果渣, 高温长时间烘干会导致果胶显著降低[22]。研究结果还显示, 诺丽果渣中纤维素含量 32.10%, 半纤维素含量 13.27%, 木质素含量 20.27%; 与前期研究结果相似[23], 但前期的研究并没有测定其半纤维素和木质素含量。诺丽果渣膳食纤维含量因所用加工方法和水果成熟度等因素而异, 但仍被认为是膳食纤维的良好来源, 平均纤维含量约为 40%~50%(重量)。此外, 诺丽果渣中富含黄酮、多酚及皂苷等物质, 研究表明, 诺丽果渣中总黄酮含量 57.88 mg/g, 总多酚含量 4.57 mg/g; 尤其以总黄酮和总皂苷含量较高, 与热带水果芒果废弃物(果皮和果核)中总黄酮含量相近[24], 为猕猴桃果渣中黄酮含量的约 2 倍[25]。诺丽果渣中粗蛋白含量 8.16%, 游离多肽含量 0.36%, 与 Dar 等[23]报道的蛋白含量 5.2%结果相近; 并且还含有总皂苷 19.9 mg/g, 与前人报道的 50 ℃下烘干后, 诺丽果渣的总皂苷含量 21.86 mg/g, 与本研究的结果相似[26]。总之, 诺丽果渣富含多糖、膳食纤维和黄酮等营养功能成分, 是一种宝贵的潜在的功能食品原料, 尚待发掘利用。

2.2　诺丽果渣多糖中的单糖组成

通过水提醇沉冻干制备的果渣多糖, 经三氟乙酸水解和 PMP 衍生化后, 在 250 nm 处检测其单糖组成。测试结果如图 1 所示, 诺丽果渣多糖中单糖是由甘露糖 33.49%、葡萄糖醛酸 2.56%、半乳糖醛酸 27.00%、葡萄糖 24.89%、半乳糖 8.77%和阿拉伯糖 3.29%组成。主要含半乳糖醛酸及甘露糖, 本研究结果与前期研究报道相似[27]。这些单糖组分是调节人体肠道的重要物质基础, 也可显著降低高脂饮食导致的肝氧化应激和炎症[28]。因此, 诺丽果渣多糖是一种潜在促进人体健康的优质食品原料。

2.3　诺丽果渣粗蛋白水解氨基酸的含量

诺丽果渣富含蛋白质, 为进一步解析其氨基酸组成, 对其水解氨基酸的组成及含量进行了测定。17 种氨基酸组成及含量如表 1 所示。如图 2 所示, 诺丽果渣蛋白水解后检测的氨基酸共有 17 种, 其总含量达 70.870 mg/g, 尤其富含天冬氨酸、谷氨酸和胱氨酸, 其含量分别为 7.991、6.880 和 7.660 mg/g, 天冬氨酸含量最高, 与前期研究相似[29], 其他氨基酸含量见表 1。所检测的 7 种必需氨基酸(赖氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸)含量在 2~5 mg/g 范围内, 总含量 23.95 mg/g,



注: 1. 甘露糖; 2. 鼠李糖; 3. 葡萄糖醛酸; 4. 半乳糖醛酸; 5. 葡萄糖; 6. 半乳糖; 7. 木糖; 8. 阿拉伯糖。

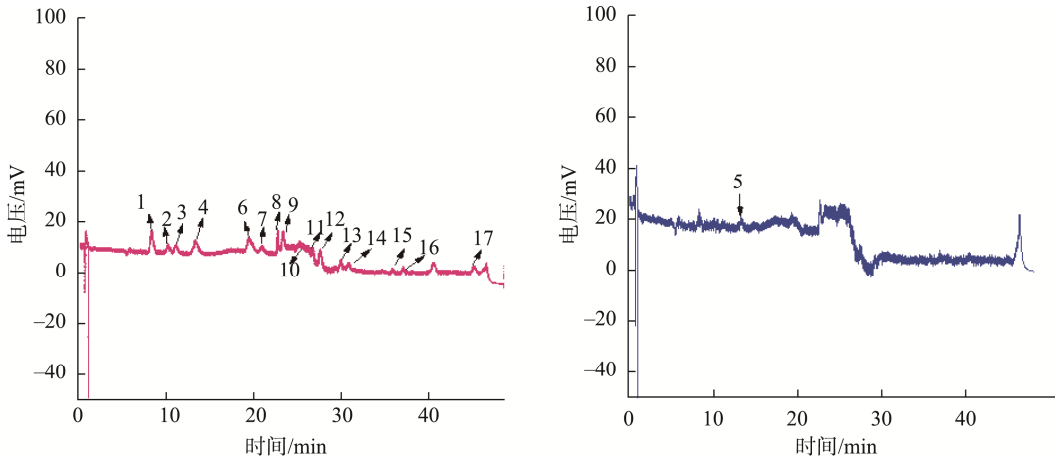
图 1　单糖标准品(a)和诺丽果渣多糖样品(b) HPLC 图谱

Fig.1　HPLC spectrum of standards monosaccharide (a) and *Morinda citrifolia* L. residue polysaccharide sample (b)

表 1 17 种氨基酸组成及含量

Table 1 Composition and content of 17 kinds of amino acids

编号	化合物	保留时间/min	峰面积/(mV・s)	含量/(mg/g)
1	天冬氨酸	8.344	271.047±12.261	7.991±0.112
2	苏氨酸	10.197	139.493±13.178	3.506±0.135
3	丝氨酸	11.124	152.126±11.967	3.269±0.098
4	谷氨酸	13.287	260.241±16.184	6.880±0.201
5	脯氨酸	14.780	91.346±13.912	5.054±0.306
6	甘氨酸	19.360	275.227±14.661	3.519±0.165
7	丙氨酸	20.904	106.287±15.182	1.890±0.116
8	胱氨酸	22.656	115.874±15.021	7.660±0.131
9	缬氨酸	23.269	167.098±13.604	4.622±0.213
10	蛋氨酸	25.107	114.780±14.156	2.946±0.347
11	异亮氨酸	26.551	84.422±12.915	2.322±0.251
12	亮氨酸	27.535	170.513±15.772	4.550±0.195
13	酪氨酸	29.861	115.564±12.982	4.585±0.158
14	苯丙氨酸	30.787	101.328±13.849	3.404±0.137
15	组氨酸	35.680	58.266±11.187	2.026±0.126
16	赖氨酸	36.911	82.398±13.181	2.597±0.163
17	精氨酸	44.947	121.465±12.562	4.048±0.178
合计			2427.476±14.781	70.870±0.367



注: 1~17 与表 1 化合物对应。

图 2 诺丽果蛋白质水解氨基酸含量的测定

Fig.2 Determination of amino acid composition by crude protein acid-hydrolysis of *Morinda citrifolia* L.

占氨基酸总量的 33.8%, 接近世界卫生组织(World Health Organization, WHO)和联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)推荐的必需氨基酸值(36%)。此外, 被检测到的色氨酸和组氨酸是婴儿的必需组分, 以上研究结果与 West 等[30]的研究报道相似。因此, 诺丽果渣蛋白的水解氨基酸组成均衡且含量丰富。

2.4 酚类化合物的组成

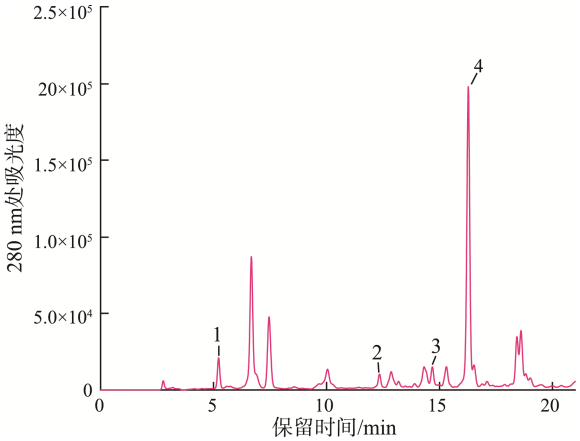
由表 2 和图 3 检测结果表明, 诺丽果渣中鉴定出酚类化合物, 如没食子酸、咖啡酸、香豆酸、芦丁。尤其以芦丁含量最高, 可达 28.86 mg/g, 与荞麦中芦丁含量接近[31]。研究结果与 Lin 等[32]的研究诺丽果生长过程芦丁的结果相似, 揭示了芦丁是诺丽果(果渣)中主要的黄酮化合物。同时, 报道了冬季采收的诺丽果中芦丁的总含量是夏天采收诺丽果的 2.5 倍。由于外界较恶劣的环境会诱导芦丁含量积累[33]。芦丁是一种黄酮类糖苷, 具有很高的抗氧化、抗菌和抗炎等活性, 在功能食品配料方面具有广泛的应用。此外, 诺丽果渣还含有少量的没食子酸、咖啡酸和香豆酸, 含量约 0.2~0.4 mg/g, 与前人报道的关于诺丽果提取物中酚酸含量的结果相似[34]。

表 2　诺丽果渣醇提物中酚类化合物的含量

Table 2　Content of phenolic compounds from *Morinda citrifolia* L. residue

编号	时间/min	化合物	峰面积	含量/(μg/mL)	回归方程	r^2	含量/(mg/g)
1	5.2	没食子酸	28665	6.5528	Y=0.0001X+3.69	0.999	0.33±0.01
2	12.3	咖啡酸	18039	4.72534	Y=0.00006X+3.43	0.999	0.24±0.01
3	14.6	香豆酸	154831	8.51984	Y=0.00004X+2.33	0.999	0.43±0.01
4	16.2	芦丁	1912536	577.1576	Y=0.0003X+3.40	0.999	28.86±0.15

注: 范围为 0~500 μg/mL。



注: 1~4 对应表 2 中的化合物。

图 3　诺丽果渣醇提酚类的 HPLC 图

Fig.3　HPLC spectrum of *Morinda citrifolia* L. residue phenolic compounds

2.5　诺丽果渣中挥发性成分的组成

诺丽果渣常含有一些独特的气味, 例如臭奶酪味。为揭示诺丽果渣的挥发性包括刺激性成分, 本研究通过正己烷萃取和甲酯化后, 进行 GC-MS 测定。研究结果如表 3 所示, 共检测到 12 种挥发性成分, 其中 9,12-十八碳二烯酸(*Z*,*Z*)含量最高, 占比 64.32%, 还含有刺鼻的成分辛酸, 其占比为 1.67%, 以及占比 11.47%的角鲨烯。这些都利于人促健康的活性营养成分。由于诺丽果渣样品中含籽, 而籽中不饱和脂肪酸含量一般超过 60%以及角鲨烯超过 10%[35], 因此, 9,12-十八碳二烯酸(*Z*,*Z*)和角鲨烯主要来源于诺丽果渣籽。辛酸被认为是诺丽果中散发臭味的主要因素, 因为辛酸是一种常见的酸性挥发性化合物, 在诺丽果中会被产生或释放出来, 给食物带来独特的味道和气味。主要的挥发性化合物是辛酸和己酸[36–37]。辛酸、己酸和丁酸被认为与奶酪、汗液和微弱的刺激性气味有关[38], 可能是诺丽果汁产生难闻气味的主要原因[39]。此外, 十六烷酸、硬脂酸、18-甲基壬癸酸等饱和脂肪酸在果渣挥发性组分有被检测到, 醛类及烯酚类物质也存在于少量的挥发性成分中。这些检测结果与前人的研究结果相似[40]。

表 3　诺丽果渣中挥发性成分的测定

Table 3　Volatile components determination of *Morinda citrifolia* L. residue

编号	保留时间/min	化合物	峰面积	占比/%
1	5.11	辛酸	3808869	1.67
2	12.77	十六烷酸	32209977	14.12
3	17.21	9,12-十八碳二烯酸(*Z*,*Z*)	146777839	64.32
4	18.16	硬脂酸	6446947	2.83
5	21.02	二十四烷酸	5781727	2.53
6	22.09	5-丁基二氢-2(3H)-呋喃酮	1181812	0.52
7	22.75	18-甲基壬癸酸	1089290	0.48
8	24.43	2,4-二甲基苯甲醛	1355545	0.59
9	25.77	角鲨烯	26167713	11.47
10	26.35	2-甲氧基-3-(2-烯)-苯酚	1296699	0.56
11	26.69	异胆酸乙酯	1022523	0.45
12	28.27	3-(甲硫基)丙酸戊酯	10532545	0.46

3 结 论

本研究结果表明，诺丽果渣含有丰富的多糖、多肽、酚类和膳食纤维等营养组分；具体包括富含芦丁(28.86 mg/g)、皂苷(19.9 mg/g)，以及富含天冬氨酸、谷氨酸和胱氨酸的蛋白多肽，其必需氨基酸组成占比 33.8%，接近 WHO/FAO 推荐值比例 36%；此外，其多糖主要由甘露糖与半乳糖醛酸等单糖组成，含有高达 64.32%以上的 9,12-十八碳二烯酸(*Z*,*Z*)和占比 11.47%的角鲨烯等活性成分。诺丽果渣含有丰富的营养活性成分，对其进行精深加工，制作成功能保健品等，有利于将诺丽果渣变废为宝，提高利用价值，促进诺丽产业的发展。

参考文献

[1] 陈建国, 梁寒峭, 李雪, 等. 灭菌条件对诺丽果汁活性物质及抗氧化活性影响[J]. 食品工业, 2016, 37(8): 193–197.
Chen Jianguo, Liang Hanqiao, Li Xue, et al. Effects of sterilization on active substance and antioxidant activity of Noni juice [J]. The Food Industry, 2016, 37(8): 193–197.

[2] 张清月, 董姝慧, 李胤豪, 等. 诺丽果不同提取物抗氧化能力的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(5): 144–150.
Zhang Qingyue, Dong Shuhui, Li Yinghao, et al. Comparative study on antioxidant ability of extracts from Noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit with different solvents [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(5): 144–150.

[3] 豆荣. 诺丽发酵过程中多酚、多糖和挥发性成分变化的研究[D]. 海口: 海南大学, 2018: 3–8.
Dou Rong. Change in polyphenols and polysaccharides, the volatile components in Noni juice during fermentation [D]. Haikou: Hainan University, 2018: 3–8.

[4] 徐荣, 杨朴丽, 徐通, 等. 诺丽果粉增强免疫力功能实验研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(24): 297–302.
Xu Rong, Yang Puli, Xu Tong, et al. Effect of *Morinda citrigolia* fruit powder on strengthening immune function in mice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(24): 297–302.

[5] 郝玉洁, 毛丙永, 崔树茂, 等. 诺丽果控温发酵过程中理化性质和活性物质的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 105–109.
Hao Yujie, Mao Bingyong, Cui Shumao, et al. Changes of physical and chemical properties and bioactive substances during the noni temperature-controlled fermentation [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(9): 105–109.

[6] Wang Mianying, West J B, Jensen C, et al. *Morinda citrifolia* (Noni): a literature review and recent advances in Noni research [J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2002, 32(12): 1127–1141.

[7] Saraphanchotiwitthaya A, Sripalakit P. Anti-inflammatory effect of *Morinda citrifolia* leaf extract on macrophage RAW 264.7 cells [J]. Scienc Asia, 2015, 41: 5–11.

[8] 张凯, 孟君, 李晓娟, 等. 诺丽酒营养成分与体外抗氧化活性分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 212–215.
Zhang Kai, Meng J, Li Xiaojuan, et al. Analysis of nutrients and antioxidant activity of noni wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(4): 212–215.

[9] 杨焱, 杨朴丽, 徐荣. 诺丽果粉对四氧嘧啶致糖尿病小鼠的降血糖作用[J]. 热带农业科技, 2017, 40(4): 31–34.
Yang Yan, Yang Puli, Xu Rong. Study on hypoglycemic effect of Noni powder on diabetic mice [J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2017, 40(4): 31–34.

[10] 范海能, 苏定志, 王谦, 等. 诺丽果发酵液抑制肝癌细胞 Bel7402 增殖及促凋亡作用观察[J]. 中医药学报, 2018, 46(6): 48–51.
Fan Haineng, Su Dingzhi, Wang Qian, et al. Effect of Noni fermentation broth on human hepatoma cells Bel7402: observation of inhibiting proliferation and promoting apoptosis [J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 2018, 46(6): 48–51.

[11] 王越, 赵文谨, 谢云飞, 等. 强化发酵对诺丽果成分的影响及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 143–149.
Wang Yue, Zhao Wenjin, Xie Yunfei, et al. Effects of intensified fermentation on the components of Noni fruit and its antioxidant activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 143–149.

[12] 刘霭莎, 洪启恩, 冯兴江, 等. 诺丽果、种子和叶提取物抑菌活性及复合植物抑菌液配方筛选[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 171–173.
Liu Aisha, Hong Qien, Feng Xingjiang, et al. Study on antimicrobial properties of Noni fruit, seed and leaf extract and screening of antimicrobial composite formula [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(14): 171–173.

[13] Dussossoy E, Brat P, Bony E, et al. Characterization, anti-oxidative and anti-inflammatory effects of *Costa Rican* Noni juice (*Morinda citrifolia* L.) [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 133: 108–115.

[14] 赵宏亮, 杨晓红, 张伟敏. 诺丽果渣成分分析及抗氧化性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 358–364.
Zhao Hongliang, Yang Xiaohong, Zhang Weimin. Primary functional components and antioxidant activity of different solvents extracts of Noni pomace [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(2): 358–364.

[15] 戴军, 朱松, 汤坚, 等. PMP 柱前衍生高效液相色谱法分析杜氏盐藻多糖的单糖组成[J]. 分析测试学报, 2007(2): 206–210.
Dai Jun, Zhu Song, Tang Jian, et al. Analysis of monosaccharide compositions in polysaccharides from *D. Salina* by pre-column derivatization high performance liquid chromatography [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2007(2): 206–210.

[16] 张明, 杜丽清, 马飞跃, 等. 超声辅助提取澳洲坚果青皮总黄酮工艺优化及抗氧化性能研究[J]. 热带作物学报, 2020, 41(5): 1022–1029.
Zhang Ming, Du Liqing, Ma Feiyue, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process for total flavonoids from macadamia green husk and its antioxidant properties [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(5): 1022–1029.

[17] 廉晓芯, 朱若楠, 吴洪钦, 等. 沙果多酚的提取及组成分析[J]. 生物质化学工程, 2022, 56(3): 29–34.
Liang Xiaoxin, Zhu Ruonan, Wu Hongqin, et al. Extraction and composition analysis of polyphenols from *Malus asiatica* Nakai [J]. Biomass Chemical Engineering, 2022, 56(3): 29–34.

[18] 张敏, 陈灿言, 方雅静. 两种不同产地诺丽果的主要营养成分与抗氧化活性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 5902–5909.
Zhang Min, Chen Chanyan, Fang Yajing, et al. Evaluation of main nutritional components and antioxidant activities of *Morinda citrifolia* L. from 2 kinds of different regions of cultivation [J]. Journal of Food Safety

& Quality, 2022, 13(18): 5902–5909.

[19] Etheridge R D, Pesti G M, Foster E H. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory [J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 73(1/2): 21–28.

[20] 张灿, 吴彩娥, 范龚健, 等. 酶解银杏蛋白制备α-葡萄糖苷酶抑制肽的研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 137–141.
Zhang Can, Wu Caie, Fan Gongjian, et al. Preparation of α-glucosidase inhibitory peptides derived from *Ginkgo biloba* by enzymatic method [J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 137–141.

[21] 刘勇, 张彩虹, 谢普军, 等. 响应面优化皂角刺皂苷超声波辅助提取工艺及其降血糖活性[J]. 林产化学与工业, 2023, 43(2): 12–18.
Liu Yong, Zhang Caihong, Xie Pujun, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction technology of saponins from *Gleditsia sinensis* Thorn by RSM and its hypoglycemic activity [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2023, 43(2): 12–18.

[22] 张钟元, 聂梅梅, 肖亚冬, 等. 真空微波干燥过程中南瓜果胶性质变化与质构的关系[J]. 现代食品科技, 2021(1): 134–141.
Zhang Zhongyuan, Nie Meimei, Xiao Yadong, et al. Relationship between pectin properties and texture of pumpkin during vacuum microwave drying [J]. Modern Food Science and Technology, 2021(1): 134–141.

[23] Dar B N, Malik A R, Wani S H. Noni (*Morinda citrifolia*), a hope in a bottle: new biology: current developments/frontiers in life sciences [M]. New Dehli: MD Publications, 2009: 338–353.

[24] 汪敏, 王维民, 陈良. 金黄芒果废弃物中总类黄酮含量的测定[J]. 农产品加工(学刊), 2006(12): 42–44.
Wang Min, Wang Weimin, Chen Liang. Determination of the total content of flavonoid in golden mango offal [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006(12): 42–44.

[25] 李金辉, 翁贵英, 朱淼, 等. 微波辅助提取猕猴桃果渣总黄酮及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(12): 79–85.
Li Jinhui, Weng Guiying, Zhu Miao, et al. Microwave-assisted extraction and antioxidant activities of total flavonoids from kiwi fruit residues [J]. Food Research and Development, 2022, 43(12): 79–85.

[26] Kha T C, Nguyen C T, Tran L T, et al. Effects of pretreatment and air drying temperature on Noni fruit powder [J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(12): 1519–1526.

[27] Jin Mingyu, Wang Yuxiao, Yang Xiaobing, et al. Structure characterization of a polysaccharide extracted from Noni (*Morinda citrifolia* L.) and its protective effect against DSS-induced bowel disease in mice [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 189–197.

[28] Yang Xiaobing, Mo Wenjing, Zheng Chuanjin, et al. Alleviating effects of noni fruit polysaccharide on hepatic oxidative stress and inflammation in rats under a high-fat diet and its possible mechanisms [J]. Food and Function, 2020, 11: 2953–2968.

[29] Edipo S A, De Oliveira D, Dachamir H. Properties and aplications of *Morinda citrifolia* (Noni): a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 18(4): 883–909.

[30] West B J, Deng S X, Jesen C J. Nutrient and phytochemical analyses of processed noni puree [J]. Food Research International, 2011, 44(7): 2295–2301.

[31] Chen Yue, Zhu Yong, Qin Likang. The cause of germination increases the phenolic compound contents of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) [J]. Journal of Future Foods, 2022, 2(4): 372–379.

[32] Lin Shuyen, Liao Yuying, Roan S F, et al. Growth of noni fruits (*Morinda citrifolia* L.) and accumulation of phenolic compounds during fruit development [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 178: 168–174.

[33] Gautier H, DIakou-Verdin V, Benard C, et al. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56: 1241–1250.

[34] Wang Ruimin, Wang Lu, Zhang Lin, et al. Solvents effect on phenolics, iridoids, antioxidant activity, antibacterial activity, and pancreatic lipase inhibition activity of noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit extract [J]. Food Chemistry, 2022, 377: 131989.

[35] West B J, Jesen C J, Westendorf J. A new vegetable oil from noni (*Morinda citrifolia*) seeds [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43: 1988–1992.

[36] Potterat O, Hamburger M. *Morinda citrifolia* (Noni) fruit-phytochemistry, pharmacology, safety [J]. Planta Medica, 2007, 73: 191–199.

[37] Sousa A, Neto M A S, Garruti D D, et al. Evaluation of Noni (*Morinda citrifolia* L.) volatile profile by dynamic headspace and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Brasileira Ciencia Technologia Alimento, 2010, 30: 641–644.

[38] Zhang Chuang, Chen Xiao, Zhang Jingying, et al. Exploring the effects of microencapsulation on odour retention of fermented Noni juice [J]. Journal of Food Engineering, 2019, 273: 109892.

[39] Pino J A, Marquez E, Quijano C E, et al. Volatile compounds in noni (*Morinda citrifolia* L.) at two ripening stages [J]. Brasileira Ciencia Technologia Alimento, 2010, 30: 183–187.

[40] Wang Zhulin, Dou Rong, Yang Ruili, et al. Changes in phenols, polysaccharides and volatile profiles of Noni (*Morinda citrifolia* L.) juice during fermentation [J]. Molecules, 2021, 26(9): 2604.

(责任编辑: 安香玉　曹岱琳)